

НАБЛЮДЕНИЕ ОРИЕНТИРОВАННЫХ 2^3S_1 -АТОМОВ ГЕЛИЯ В НАТРИЙ-ГЕЛИЕВОЙ ПЛАЗМЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НЕЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННО МОДУЛИРОВАННЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

С.П.Дмитриев, Н.А.Доватор, Р.А.Житников, В.А.Картошкин,
В.Д.Мельников

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН
194021 Санкт-Петербург, Россия

Поступила в редакцию 5 января 1997 г.

Описывается эксперимент по наблюдению спиновой поляризации метастабильных атомов гелия, взаимодействующих с оптически ориентированными атомами натрия в условиях непрерывного высокочастотного разряда. В качестве источника оптической накачки атомов натрия, находящихся в основном состоянии, использовалось лазерное излучение со знакопеременной циркулярной поляризацией, настроенное на резонансное возбуждение перехода $2^3S_{1/2} - 3^2P_{1/2}$ в атомах Na.

PACS: 52.20.Hv

Спиновая ориентация атомов может быть осуществлена не только в результате их взаимодействия с резонансным оптическим излучением, но и путем передачи спиновой ориентации от атомов одного сорта (предварительно ориентированных) к атомам другого сорта (первоначально не ориентированных). Так, ориентация метастабильных триплетных атомов гелия может происходить в результате их взаимодействии с оптически ориентированными щелочными атомами в плазме импульсного высокочастотного (ВЧ) разряда. Ранее этим способом была осуществлена ориентация 2^3S_1 -атомов гелия в плазме Cs-He [1], Rb-He [2, 3], K-He [4]. Характерными экспериментальными особенностями в этих работах было использование импульсного ВЧ разряда, создающего щелочно-гелиевую плазму, применение спектральных безэлектродных ламп в качестве источников света для оптической накачки атомов щелочного металла, а также детектирование ориентации атомов гелия по изменению поглощения света накачки при возбуждении магнитного резонанса в $2^3S_{1/2}$ -состоянии атомов гелия.

В настоящей работе наблюдается передача спиновой ориентации от атомов натрия, ориентированных лазерным излучением, к 2^3S_1 -метастабильным атомам гелия, возбуждаемым в Na-He-плазме непрерывного ВЧ разряда. Использование в таком эксперименте поляризационного модулированного лазерного излучения накачки позволило осуществить регистрацию спиновой ориентации атомов гелия по изменению поглощения резонансного гелиевого света без применения техники магнитного резонанса.

Схема эксперимента представлена на рис.1. В работе использовался изготовленный в лаборатории перестраиваемый лазер непрерывного действия на красителе (родамин-6G) с выходной мощностью ≈ 70 мВт при мощности аргонового лазера накачки 4 Вт, настроенный на длину волны ($\lambda = 589.6$ нм) перехода атомов натрия $3^2S_{1/2} - 3^2P_{1/2}$. Суть эксперимента заключалась в следующем. Под действием лазерного излучения накачки, направленного вдоль постоянного магнитного поля $H_0 = 40$ мЭ и проходящего через вращающуюся

с частотой $f = 60$ Гц четвертьволновую ($\Lambda/4$) слюдянную пластинку, создается знакопеременная ориентация атомов натрия. В результате спин-зависимых столкновительных процессов¹, протекающих в газоразрядной камере, представляющей собой стеклянную ячейку с металлическим натрием и гелием-4 при давлении 1 торр, происходит ориентация 2^3S_1 -метастабильных атомов гелия. Для регистрации возникающей в атом-атомных и электрон-атомных столкновениях спиновой ориентации атомов гелия использовалось неполяризованное излучение гелиевой лампы, проходящее через плазму навстречу лучу накачки. Между газоразрядной камерой и фотоприемником устанавливались циркулярный анализатор и оптический фильтр ($\lambda = 1083$ нм, переход $2^3S_1 - 2^3P_{0,1,2}$ в атомах He). В этом случае интенсивность света, регистрируемого фотоприемником, зависит от направления и величины ориентации ансамбля 2^3S_1 -атомов гелия [5]. Поскольку за один оборот $\Lambda/4$ -пластинки знак циркулярной поляризации света накачки атомов Na изменяется с σ^+ на σ^- дважды, а ориентация атомов гелия отслеживает изменение ориентации атомов Na, то выходной сигнал фотоприемника представляет собой переменное напряжение с частотой $2f = 120$ Гц.

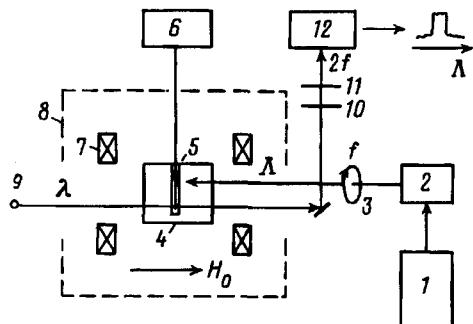


Рис.1. Схема экспериментальной установки:
1 – аргоновый лазер, 2 – перестраиваемый лазер, 3 – вращающаяся $\Lambda/4$ -пластинка, 4 – термостатированная газоразрядная камера, 5 – остеклованный электрод, 6 – генератор ВЧ разряда, 7 – кольца Гельмгольца, 8 – ферромагнитный экран, 9 – гелиевая спектральная лампа, 10 – циркулярный анализатор, 11 – интерференционный фильтр (λ), 12 – фотоприемное устройство с синхронным детектором

На рис.2 представлен сигнал изменения интенсивности зондирующего света гелиевой лампы, полученный с использованием техники синхронного детектирования на частоте $2f$ при медленном изменении длины волны перестраиваемого лазера вблизи резонансной линии натрия (D_1 -линия, $\lambda = 589.6$ нм). Регистрация такого сигнала однозначно свидетельствует о возникновении спин-ориентированных атомов гелия в натрий-гелиевой плазме. Ширина сигнала на рис.2 определяется спектральной шириной излучения перестраиваемого лазера и составляет 0.007 нм. Относительная амплитуда сигнала соответствует величине $\delta I/\Delta I = 0.001$, где δI – изменение интенсивности зондирующего света при сканировании длины волны лазерного излучения, а ΔI – изменение интенсивности зондирующего света, обусловленное его поглощением в камере при включении разряда. Отношение $\delta I/\Delta I$ может служить оценкой степени ориентации 2^3S_1 -метастабильных атомов He.

¹К таким элементарным процессам, происходящим в щелочно-гелиевой плазме, относятся спин-зависимая пенниговская ионизация $n^2S_{1/2}$ -атомов щелочного металла при их взаимодействии с 2^3S_1 -атомами гелия, межатомный спиновый обмен, протекающий при упругих столкновениях этих атомов, а также столкновения атомов He с электронами, поляризованными в процессе спинового обмена свободных электронов плазмы с оптически ориентированными атомами щелочного металла.

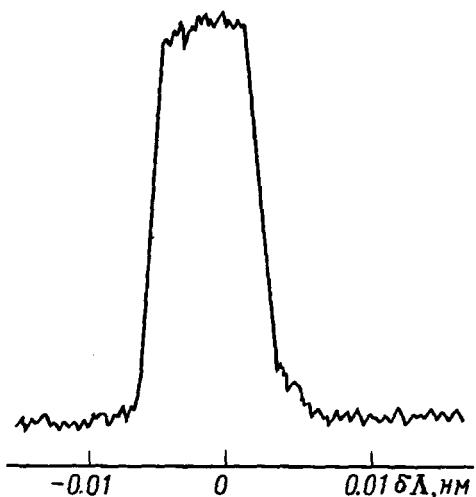


Рис.2. Сигнал изменения интенсивности зондирующего света при сканировании длины волны излучения перестраиваемого лазера в области D_1 -линии натрия ($\Lambda = 589.6$ нм). Сигнал записан при температуре газоразрядной камеры $\approx 150^\circ\text{C}$

В заключение следует отметить, что сравнительно небольшая степень ориентации (0.1%) атомов гелия, полученная в данном эксперименте, может быть повышена за счет уменьшения деполяризации атомов натрия на стенах камеры (путем увеличения давления буферного газа – Не), оптимизации параметров газового разряда и увеличения спектральной мощности лазерного излучения, что и планируется сделать в дальнейших экспериментах.

-
1. Е.В.Блинов, Р.А.Житников, П.П.Кулешов, Письма ЖТФ **2**, 305 (1976).
 2. G.M.Keiser, H.G.Robinson, and C.E.Jonson, Phys. Lett. **51A**, 5 (1975).
 3. Е.В.Блинов, Б.И.Гинзбург, Р.А.Житников, ЖТФ **54**, 287 (1984).
 4. Е.В.Блинов, Б.И.Гинзбург, Р.А.Житников, П.П.Кулешов, ЖТФ **54**, 2315 (1984).
 5. R.J.Knize, Z.Wu, and W.Happer, Adv. in Atom. & Mol. Phys. **24**, 224 (1988).